



Mészáros Miklós

Félvezető eszközök, áramkörü elemek II.

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Elektronikai áramkörök tervezése, dokumentálása

A követelménymodul száma: 0917-06 A tartomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-012-50

FÉLVEZETŐ ESZKÖZÖK, ÁRAMKÖRI ELEMEEK II.

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Új munkahelyének szakmai profilja: gyengeáramú analóg erősítők tervezése, méretezése, megépítése és mérési vizsgálata. A munkába állás előtt részt kell vennie egy speciális szakmai tanfolyamon, amelynek belépési feltétele a többrétegű félvezető eszközök, az unipoláris tranzisztorok és az erősáramú félvezető eszközök, mint alkatrészek felépítésének, működésének az ismerete. Tanulmányozza az alábbi szakmai információkat, s oldja meg az önellenőrző feladatokat!

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

BEVEZETŐ

A gyengeáramú analóg erősítők tervezéséhez, méretezéséhez, megépítéséhez és mérési vizsgálatához elengedhetetlen a félvezető anyagok fizikai alapjaira épített unipoláris tranzisztorok ismerete. A tervezérlésű eszközök között külön kell tárgyalni a **jFET**-ek és a **MOSFET**-ek felépítését, működését, jellemző tulajdonságait, előnyeit és hátrányait. Ugyanígy részletezni kell az erősáramú félvezető eszközök felépítését, működését, jellemzőit, előnyös tulajdonságait. Minden félvezető eszközt karakterisztika jellemez. A jelleggörbék szemléletessé teszik az eszköz működését, s előre vetítik azok alkalmazási lehetőségeit.

UNIPOLÁRIS TRANZISZTOROK

1. Az unipoláris tranzisztorok felépítése, fajtái és működésük

Unipoláris, más néven térvezérlésű tranzisztoroknak nevezik azokat a tranzisztorokat, amelyekben a kialakuló áramot csak egyfajta töltéshordozó (elektron vagy lyuk) biztosítja. Erre utal az unipoláris elnevezés. Működésük alapja: egy félvezető kristályból álló csatorna vezetőképességének külső villamos erőter segítségével történő változtatása. Angol rövidített elnevezésük **FET**, ahol a betűk jelentése: **Field Effect Transistor** – térvezérlésű tranzisztor. Az elektromos teret egy kapunak nevezett vezérlőelektróda segítségével hozzák létre a csatorna keresztmetszetében. Az elektromos erőteret létrehozó feszültség vezérli a FET áramát. A kapuelektróda felépítése szerint létezik: **jFET** (junction Field Effect Transistor, záróréteges félvezető) és **MOSFET** (Metal Oxide Semiconductor, fém-oxid félvezető).

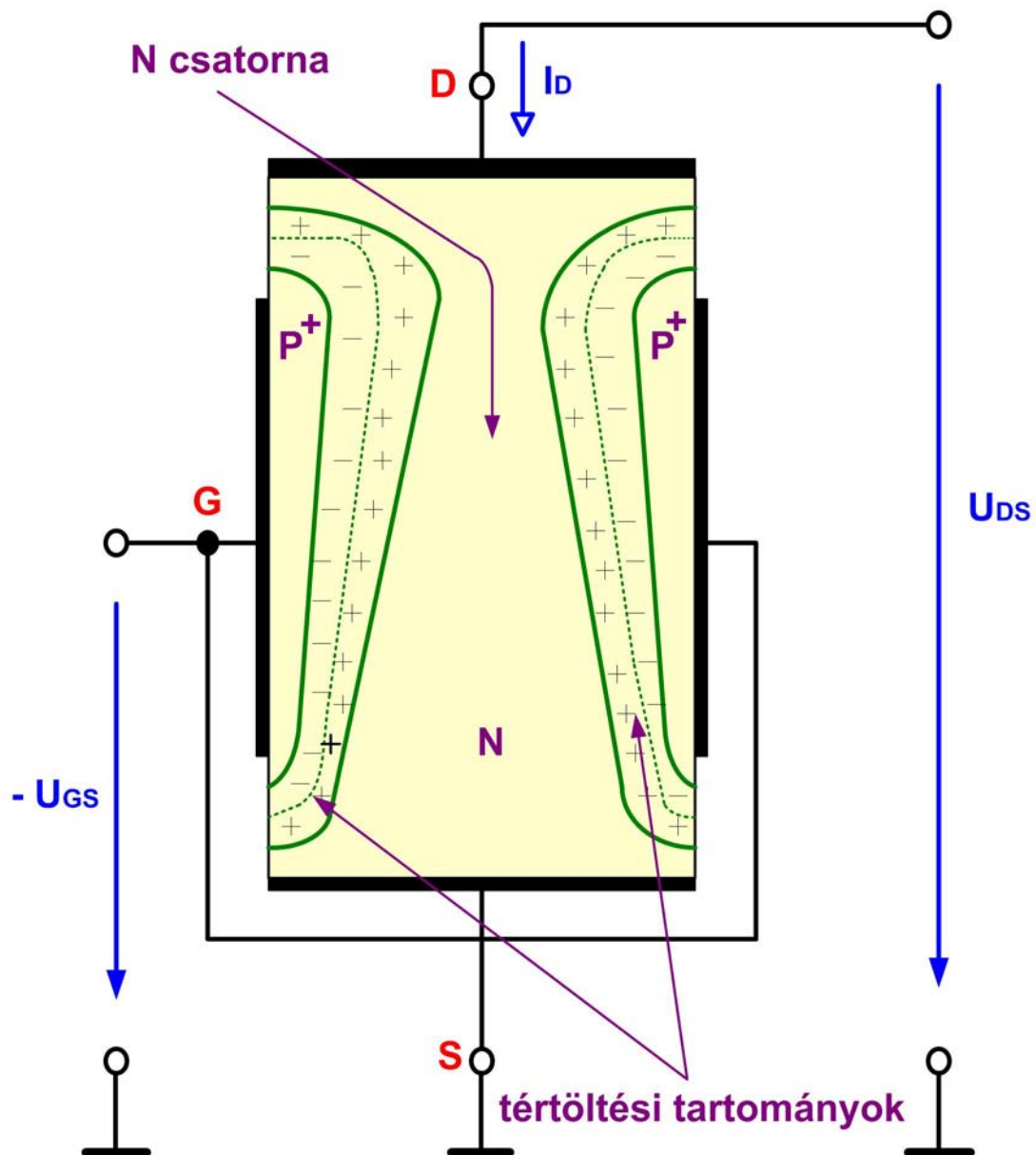
A térvezérlésű tranzisztorok legalább 3 előnnyel rendelkeznek a bipoláris tranzisztorokkal szemben:

- igen nagy értékű a bemeneti ellenállásuk,
- egyszerűbb a gyártásuk,
- kisebb a helyigényük az integrált áramkörökben.

Vizsgáljuk meg a két unipoláris tranzisztorcsalád felépítését, fajtáit és működését!

a) Záróréteges térvezérlésű tranzisztor (JFET)

A JFET olyan térvezérlésű eszköz, melynek belső csatornáját két db, záróirányban előfeszített PN átmenet határolja. A csatorna készülhet N vagy P típusú szennyezéssel. Az 1. ábrán egy N csatornás záróréteges tranzisztor szerkezete, feszültségei és áramai láthatók.



1. ábra. N csatornás JFET szerkezete, áramai és feszültségei

S – Source (forrás elektróda)

D – Drain (nyelő elektróda)

G – Gate (kapu elektróda)

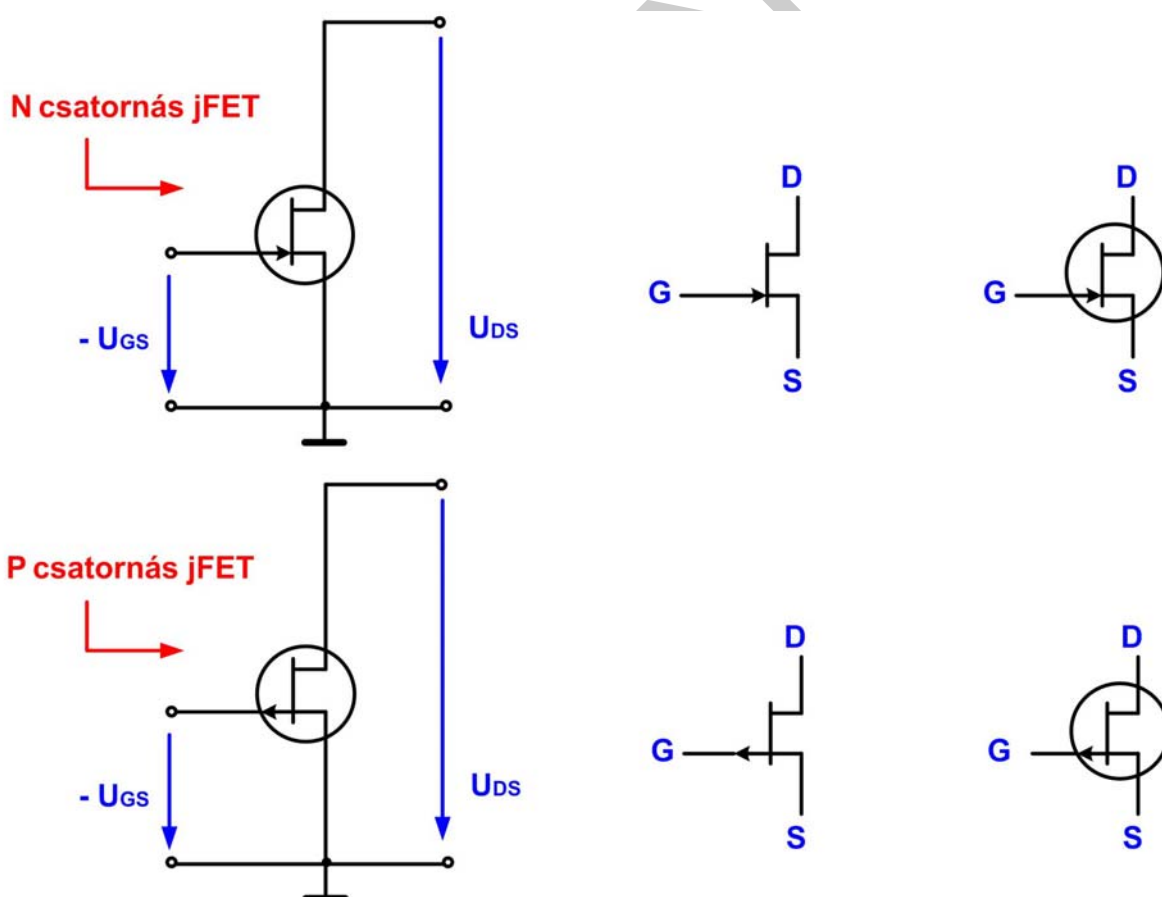
Az N csatornás JFET szerkezetének közepén egy nagyon keskeny, **gyengén szennyezett réteg**, a csatorna helyezkedik el, melyet két **erősen szennyezett**, a csatornával ellentétes szennyezettségű **P+** félvezető határol. A tranzisztortban tehát 2 PN átmenet található. A csatorna két végén fém elektródák, a **D** drain és az **S** source kivezetések találhatók. A **G** gate elektróda feladata a vezérlés.

Alaphelyzetben a **D** és a **S** közé U_{DS} feszültséget kapcsolunk, s ha a **G** és a **S** elektróda közötti U_{GS} feszültség nulla, mindkét PN-átmenet záróirányú előfeszítést kap. Mivel ekkor a csatorna szélessége maximális, a **D** és **S** elektródák közötti I_D elektronáram a legnagyobb. Ezért nevezik a jFET-eket **önvezető** tranzisztoroknak.

Az U_{GS} feszültség változtatásával befolyásolható a csatorna, azaz a vezető réteg ellenállása. A csatorna ellenállásának növekedése a csatornán folyó I_D áram csökkenését eredményezi. Tehát az I_D áram nagysága az U_{DS} feszültséggel vezérelhető. A vezérléshez nincs szükség teljesítményre.

A 2. ábrán szerepelnek az N és a P csatornás jFET-ek előfeszítés megoldásai, valamint a szabványos jelölések.

FONTOS! A régebbi szabványok a körbe foglalt jelölést alkalmazták, de az MSZ EN 60617-x szabványnak a kör nélküli jelölések felelnek meg. Az unipoláris tranzisztor alapelemként történő kezelésénél segítséget jelenthet az áramkört elem körbefoglalása. A szakmai tananyagelem a továbbiakban a szimbólumoknál a körbefoglalást alkalmazza.



2. ábra. N és P csatornás jFET előfeszítései és rajzjelei

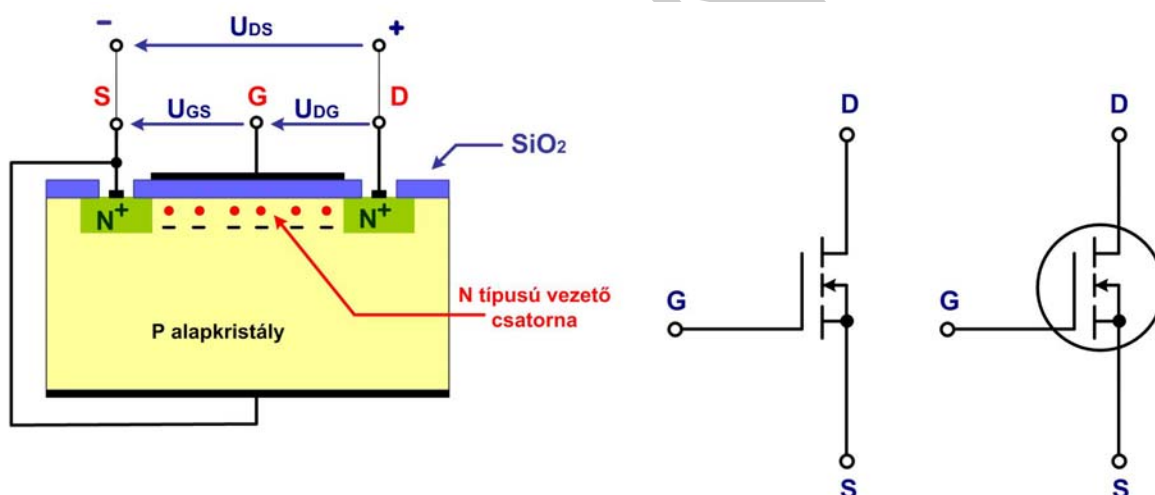
b) MOSFET tranzisztorok

A MOSFET típusú tranzisztor felépítése összhangban áll az elnevezéssel (MOS – Metal Oxid Semiconductor, azaz fém – oxid – félvezető).

A MOSFET tranzisztorok – hasonlóan, mint a JFET-ek, szintén lehetnek N csatornásak vagy P csatornásak. További csoportosításuk: növekményes (önzáró), ill. kiürítéses (önvezető). Célszerű mindkét MOSFET típust külön-külön megvizsgálni.

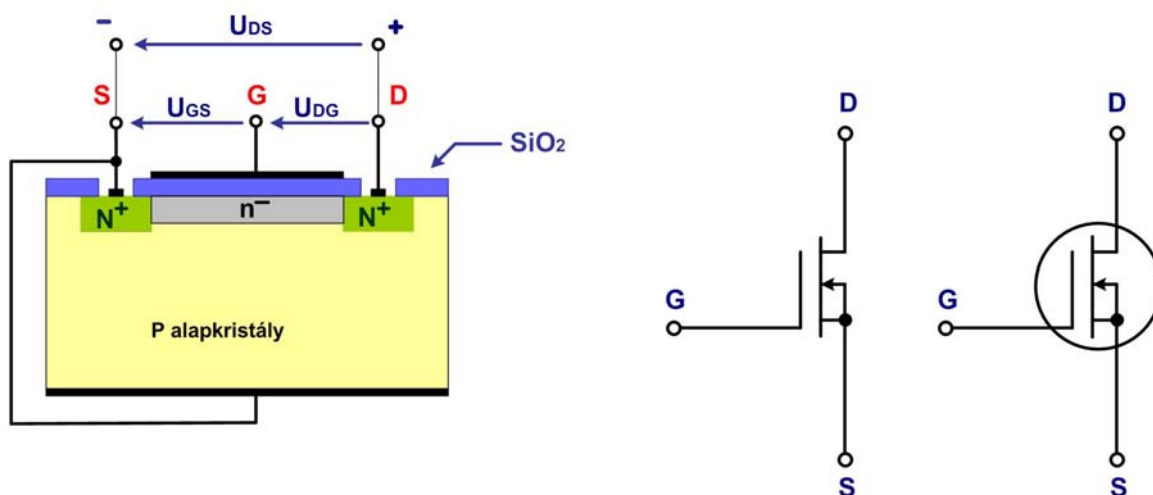
– Növekményes (önzáró) MOSFET

A 3. ábra egy N csatornás növekményes MOSFET felépítését, működését és szabványos rajzjelét szemlélteti. A tranzisztor alapanyaga egy P típusú, gyengén szennyezett Si alapkristály, amelyben gyártáskor két db erősen szennyezett N^+ típusú vezető szigetet, source és drain réteget hoznak létre. A külső felületen szilícium-dioxid (SiO_2) fedőréteget növesztenek, amely kiváló szigetelő tulajdonsággal rendelkezik (természetesen az S és a D elektródák számára ablakokat hagynak). A MOS típusnak megfelelően a szilícium-dioxid rétegre igen vékony fémréteget párologtatnak, amely elszigetelődve a kristálytól a gate elektródát biztosítja. Az alapkristály kivezetését a tokon belül vagy tokon kívül összekötik a source elektródával.



3. ábra. N csatornás növekményes MOSFET felépítése és rajzjele

Az 4. ábra egy N csatornás kiürítéses MOSFET felépítését, működését és szabványos rajzjelét szemlélteti. A felépítés nagyon hasonlít a növekményes MOSFET-nél megismert szerkezetre. Eltérés: a szilícium-dioxid szigetelőréteg alatt az alapanyagban gyenge N^- típusú szennyezést hoznak létre. Ennek révén – anélkül, hogy a gate elektródára feszültséget kapcsolnánk – vezető jellegű összekötés alakul ki a source és a drain között.



4. ábra. *N csatornás kiürítéses MOSFET felépítése és rajzjele*

A kiürítéses MOSFET tranzisztoroknál $U_{GS} = 0V$ esetén is folyik I_D drain áram. Innen származtatható az **önvezető** elnevezésük. Ezek az unipoláris tranzisztorok pozitív és negatív U_{GS} gate feszültséggel egyaránt vezérelhetők. Az ilyen félvezetők vezérlésük szerint két üzemmódban működhetnek. Ezek a következők:

Dúsításos üzemmód: pozitív gate feszültséggel ($U_{GS} > 0V$) történő vezérlés hatására a csatorna elektronokkal dúsul, s megnövekszik a vezetőképesség.

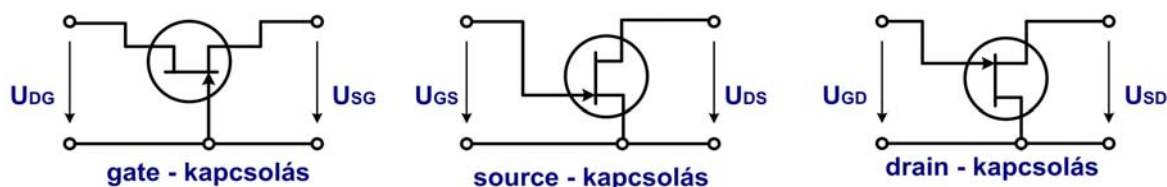
Kiürítéses üzemmód: negatív gate feszültséggel ($U_{GS} < 0$) történő vezérlés hatására a csatorna elektronokban elszegényesedik, s vezetőképessége csökken.

A műszaki gyakorlatban leginkább a kiürítéses üzemmódot alkalmazzák, ezért is nevezték el ezeket a tranzisztorokat kiürítéses típusúnak.

2. Az unipoláris tranzisztorok alapkapsolásai, karakterisztikái

a) Záróréteges térvezérlésű tranzisztor (JFET)

A záróréteges térvezérlésű tranzisztorokat leggyakrabban erősítőkből, kapcsolóáramkörökben és oszcillátorokban alkalmazzák. Egy egyszerű erősítő négypólusnak tekinthető, ezért a térvezérlésű tranzisztor egyik elektródáját közösítjük a bemenet és a kimenet között. A négypólussá alakítás során – a bipoláris tranzisztorok mintájára – három féle alapkapsolás hozható létre. A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok alapkapsolásai az 5. ábrán tanulmányozhatók.

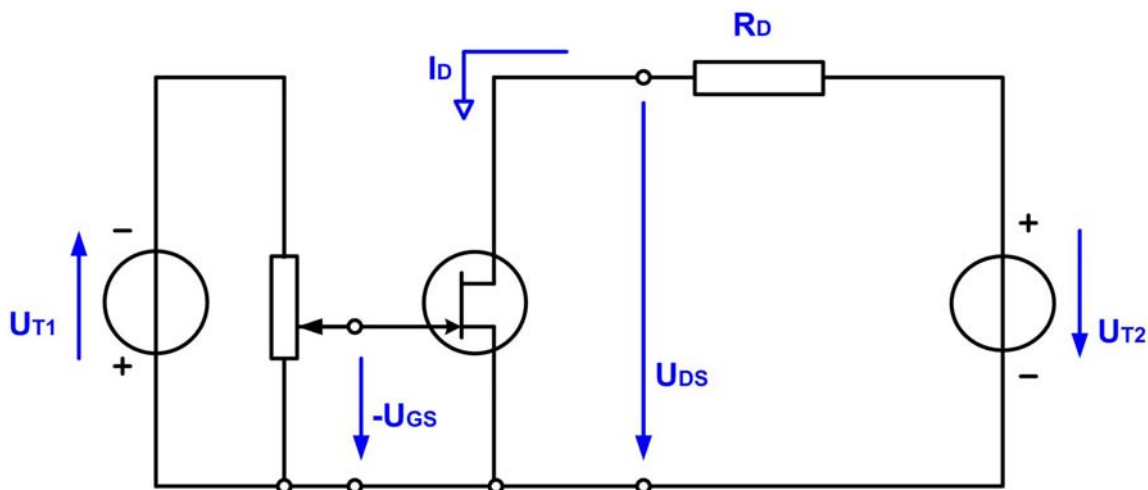


5. ábra. N csatornás JFET-ek alapkapsolásai

Párhuzamot lehet vonni a tervezérlésű és a bipoláris tranzisztorok alapkapsolásai között: a gate-kapsolás (közös gate-ű) a báziskapsolásnak, a source kapsolás (közös source-ű) az emitterkapsolásnak, a drain-kapsolás (közös drainű) kapsolás a kollektorkapsolásnak felel meg. A három alapkapsolás közül a gate - kapsolást a műszaki gyakorlatban nemigen, legfeljebb igen magas frekvencián alkalmazzák, mert ilyenkor igen nagy a gate - csatorna ellenállása.

A JFET-ek fizikai működése nem függ az alapkapsolástól, de jellemzői alapkapsolás függők. A bemeneti és kimeneti feszültségek és áramok közötti kapcsolatokat a JFET jelleggörbéi szemléltetik.

A JFET-ek karakterisztikáinak felvételéhez mérőáramkört kell összeállítani. A 6. ábrán látható kapsolás 2 db tápfeszültséggel alkalmas a jelleggörbék felvételére. Természetesen a feszültségek és áramok mérésére műszereket kell a kapsoláshoz alkalmazni.



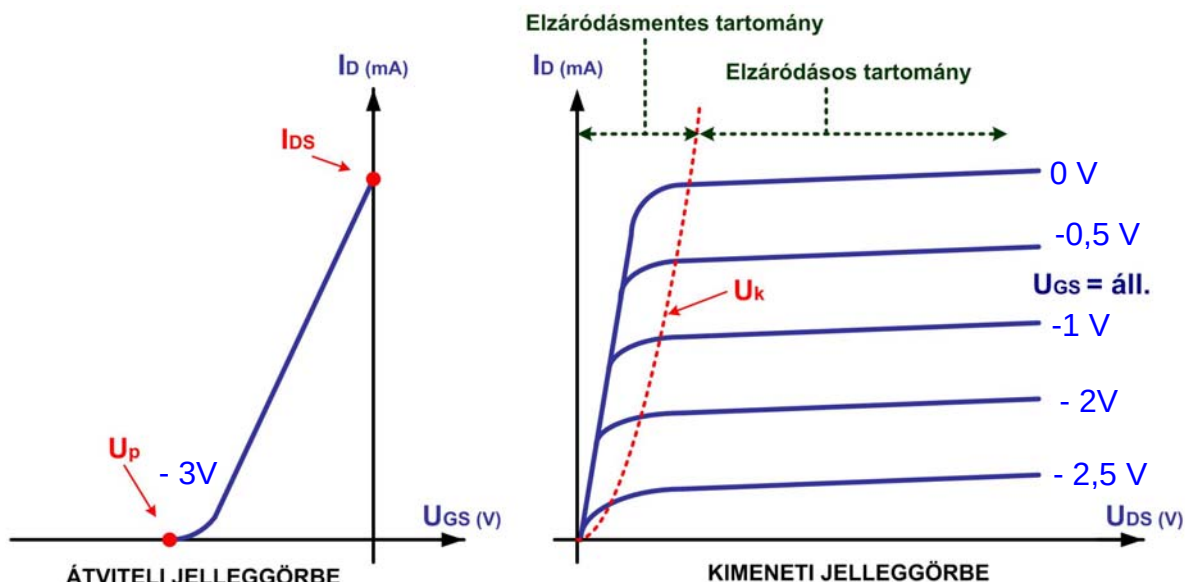
6. ábra. N csatornás JFET mérőkapsolása

Az unipoláris tranzisztoroknál nem készíthető bemeneti karakterisztika, hiszen a JFET bemeneti vezérlő árama (I_G) teljesen elhanyagolható, nem kell vele foglalkozni. Az elektronikai gyakorlat átviteli és kimeneti jelleggörbéket alkalmaz.

Átviteli jelleggörbe: az U_{GS} bemeneti vezérlő feszültség függvényében ábrázolja az I_D kimeneti áram változását.

Kimeneti jelleggörbe: az U_{DS} kimeneti feszültség függvényében ábrázolja az I_D kimeneti áram változását. Az egyes görbéken az U_{GS} feszültség állandó.

A 7. ábra szemlélteti az N csatornás JFET átviteli és kimeneti jelleggörbéit.



7. ábra. N csatornás JFET karakterisztikái

I_{DS} : a draináram maximális értéke, amely $U_{GS}=0V$ feszültségérték esetén folyik a tranzisztoron.

U_p : **elzáródási feszültség.** Az U_{GS} feszültség azon értéke, amelynél abszolút értékben nagyobb feszültségértékeknél nem folyik áram a tranzisztoron.

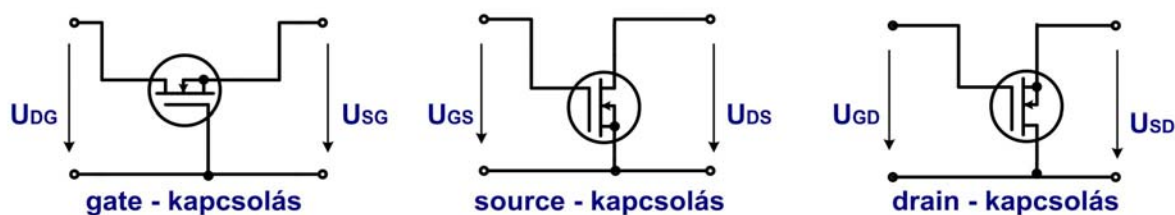
U_k : **könyökfeszültség.** Olyan nagyságú U_{DS} feszültség, amely feletti U_{DS} feszültségek gyakorlatilag nem növelik az I_D draináram értékét, az áram telítésbe kerül.

Elzáródásmentes tartomány: a kimeneti karakterisztika azon része, ahol az $U_{DS} \leq U_k$. A könyökfeszültség értéke alatti U_{DS} feszültségeknél az I_D értéke közelítően egyenesen arányos az U_{DS} feszültség értékével.

Elzáródásos tartomány: a kimeneti karakterisztika azon része, ahol $U_{DS} > U_k$. Ebben a tartományban a tranzisztor drainárama csak az U_{GS} feszültség értékétől függ.

b) MOSFET tranzisztorok

A MOSFET tranzisztorokat főleg nagyfrekvenciás erősítőkben és digitális integrált áramkörökben alkalmazzák. Ezeket az áramkörü elemeket is négy pólusnak tekinthetjük, ha egyik elektródájukat közösítjük a bemenet és a kimenet között. A négy pólussá alakítás során szintén három féle alkapcsolás hozható létre. A MOSFET tranzisztorok alkapcsolásai a 8. ábrán tanulmányozhatók.



8. ábra. N csatornás kiürítéses MOSFET alapkapsolások

A MOSFET-ek fizikai működése sem függ az alapkapsolástól, de jellemzői alapkapsolás függőek. A bemeneti és kimeneti feszültségek és áramok közötti kapcsolatokat a MOSFET jelleggörbéi szemléltetik.

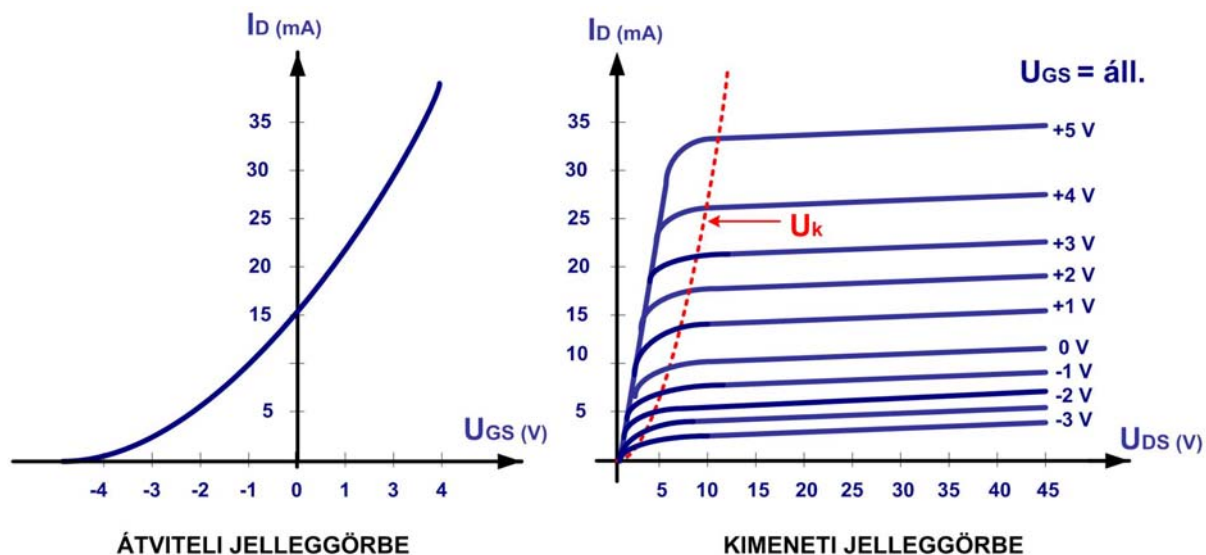
A MOSFET-ek karakterisztikáinak felvételéhez hasonló mérőkapsolás szükséges, mint a JFET-ekhez (ld. 6. ábra!)

A MOSFET tranzisztoroknál sem értelmeznek bemeneti karakterisztikát, mert a bemeneti vezérlő áram (I_G) teljesen elhanyagolható. Az elektronikai gyakorlat átviteli és kimeneti jelleggörbéket használ.

Átviteli (vezérlő) jelleggörbe: az U_{GS} bemeneti vezérlő feszültség függvényében szemlélteti az I_D kimeneti áram változását.

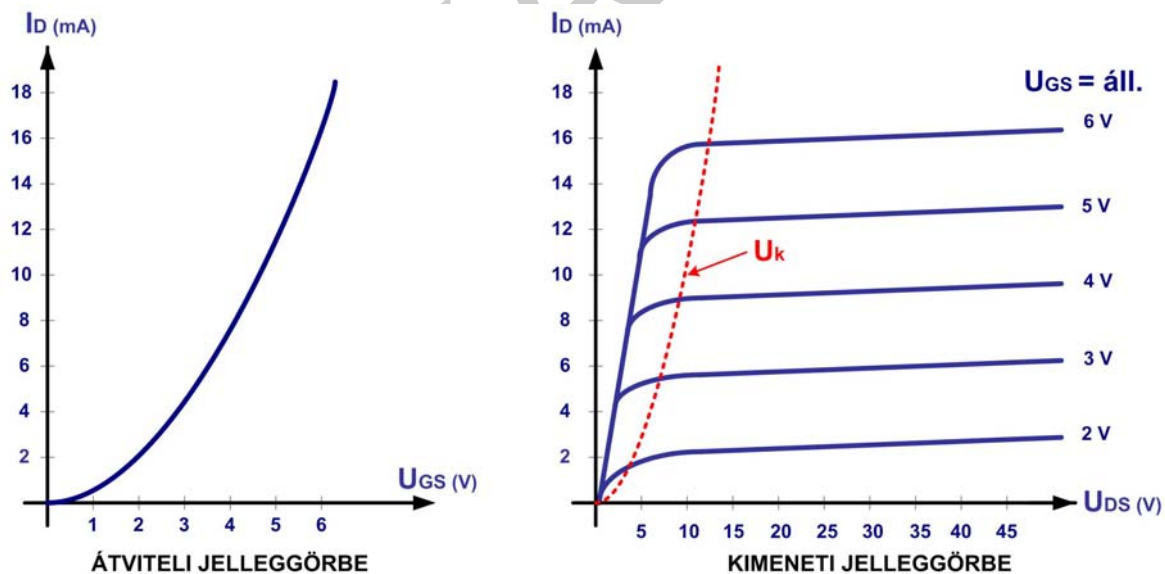
Kimeneti jelleggörbe: az U_{DS} kimeneti feszültség függvényében ábrázolja az I_D kimeneti áram változását. Az egyes görbéken az U_{GS} feszültség állandó.

A kiürítéses és a növekményes MOSFET-ek karakterisztikái jellegre nagyon hasonlóak. A 9. és 10. ábrákon összehasonlíthatjuk az N csatornás kiürítéses és az N csatornás növekményes MOSFET átviteli és kimeneti jelleggörbéit.



9. ábra. Az N csatornás kiürítékes MOSFET karakterisztikái

Az N csatornás kiürítékes MOSFET átviteli és kimeneti karakterisztikájából egyaránt látszik, hogy $U_{GS} = 0$ V feszültségnél is folyik I_D draináram. Pozitív gate – source feszültségértéknél ($U_{GS} > 0$ V) növekszik a csatorna vezetőképessége és az I_D draináram. Negatív gate – source feszültségértéknél ($U_{GS} < 0$ V) csökken a csatorna vezetőképessége és az I_D draináram. A karakterisztikán feltüntetett értékek tájékoztató jellegűek.



10. ábra. N csatornás növekményes MOSFET karakterisztikái

A növekményes MOSFET jelleggörbái nagyon emlékeztetnek a bipoláris tranzisztorok karakterisztikáira. Itt is elmondható, hogy a source az emitternek, a gate a bázisnak, a drain a kollektornak felel meg. Gyakorlatilag az I_D áram érdemi megjelenéséhez 1–2 V-os U_{GS} feszültség szükséges, mert csak ekkor kezd kialakulni a FET belsejében az N^+ szigetek közötti vezető csatorna. Az is megfigyelhető, hogy ha az U_{DS} eléri az U_k könyökfeszültséget, az I_D áram gyakorlatilag nem növekszik, ilyenkor a kimeneti jelleggörbékre telítődés lesz jellemző.

Végezetül következék egy összefoglaló táblázat (11. ábra), amelyben a jFET-ek és a MOSFET-ek szabványos jelöléseit lehet összehasonlítani. A jFET és a MOSFET jelöléseinél a legszembetűnőbb különbség, hogy a gate bonyolultabban csatlakozik a kristályhoz. Az N és a P csatornás típusra a nyílirányok utalnak. A növekményes MOSFET-et a szaggatott vonal alkalmazása különbözteti meg a kiürítéses típustól.

TÉRVEZÉRLÉSŰ (UNIPOLÁRIS) TRANZISZTOROK SZABVÁNYOS JELÖLÉSEI					
N csatornás	P csatornás	N csatornás	P csatornás	N csatornás	P csatornás
kiürítéses		kiürítéses		növekményes	
JFET		MOSFET			

11. ábra. Térvezérlésű tranzisztor fajták szabványos jelölései

A MOSFET-ek bemenete a szigetelő réteg, valamint a gate és a source elektródák miatt kondenzátorként is felfogható. A néhány pF értékű bemeneti kapacitás dielektrikuma igen keskeny kivételű, ezért a szigetelő oxidréteg átütési szilárdsága nagyon alacsony. Az önálló kivételű MOS tranzisztort ezért védeni kell az elektrosztatikus feszültségektől, amelyek könnyen tönkre tehetnék az áramköri elemet.

A sztatikus töltés veszélyforrás ellen többféleképpen védekeznek. MOS típusú tranzisztorok gyengén szennyezett alapkristálya, alaplemeze – amit **szubsztrát**-nak is neveznek – és a gate közé gyakran Zener-diódás védelmet is beépítenek. (A szubsztrát különböző félvezető eszközök gyengén szennyezett alapkristálya, alaplemeze, melyre valamilyen technológiával, pl. kristálynövesztéssel újabb réteget növesztenek.) A MOSFET-eket általában rövidrezárt elektródákkal szállítják.

A kisjelű unipoláris tranzisztorok igen nagy bemeneti ellenállása, kicsi saját zaja és igen magas felső határfrekvenciája egészen kis szintű bemeneti jelek erősítését biztosítja nagyon széles frekvenciasávban.

A diszkrét unipoláris tranzisztorok tokozott kivitelezésénél nemigen állapítható meg, hogy jFET vagy MOSFET. Ehhez katalógust vagy interneti keresést kell alkalmazni. A 12. ábra pl. egy jFET és egy MOSFET fényképét mutatja.



12. ábra. Unipoláris tranzisztorok a gyakorlatban¹

ERŐSÁRAMÚ FÉLVEZETŐ ESZKÖZÖK

A hagyományos félvezetők alkalmazása az erősáramú technikában elsősorban a megnövekedett üzemi feszültség és a megemelkedett áramigény miatt akadályokba ütközött. A többfázisú rendszerek szélesebb körű szabályozhatóságot igényelnek. Az erősáramú technika megkövetelte új típusú félvezető eszközök kifejlesztését. Az új áramköri elemek nagy részének feltalálása, megalkotása és alkalmazása évtizedekkel ezelőtt megkezdődött. Sokrétű felhasználásuk egyre inkább előtérbe kerül, fejlesztésük folyamatos.

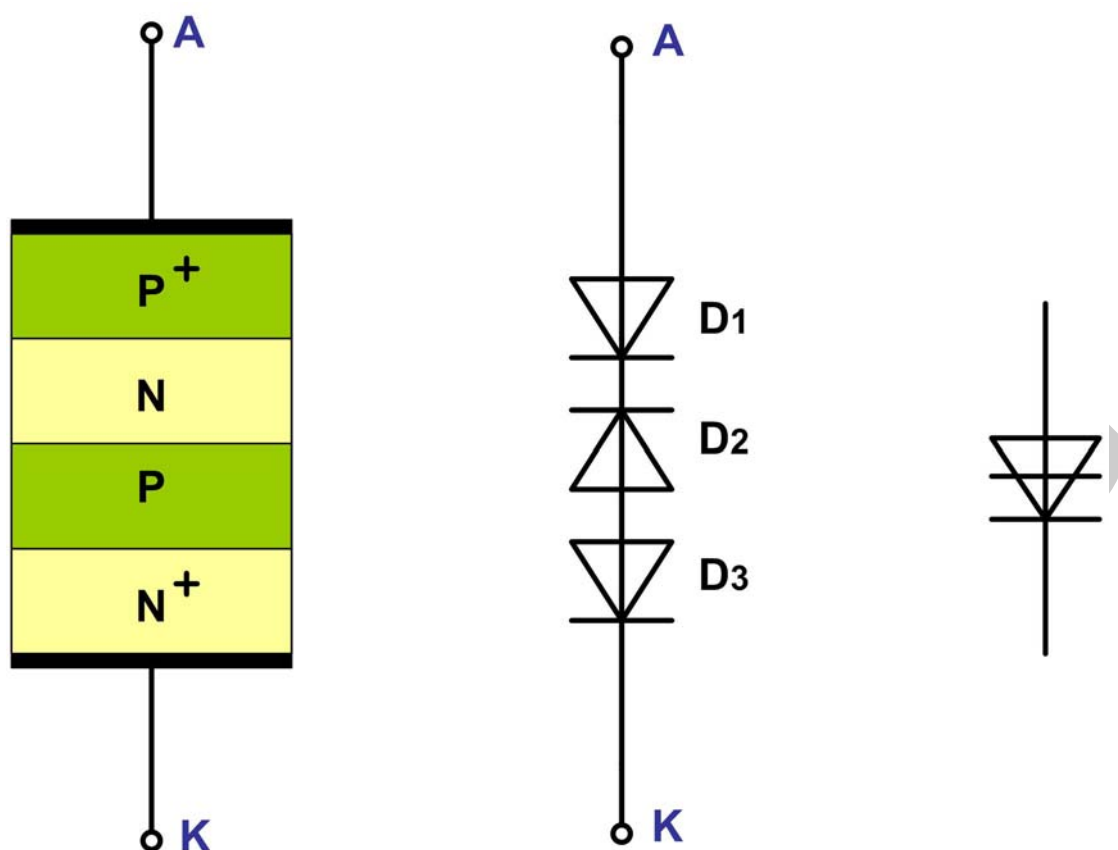
A továbbiakban a négyrétegű dióda, a tirisztor, a diac, a triac és az UJT szerkezeti felépítésével, működésével, áramköri jelölésével és technikai alkalmazásával foglalkozunk.

1. Négyrétegű dióda

A négyrétegű dióda alapanyaga szilícium. Szerkezetében a négy darab összekapcsolódó félvezető réteg P–N–P–N sorrendű PN átmenetekből áll. A négyrétegű diódát nevezik még tirisztordiódának, triggerdiódának. A felépítés felfogható három db dióda megfelelő polaritású összekapcsolásának. Az anóddal érintkező P réteg és a katóddal érintkező N réteg szennyezettsége legalább két nagyságrenddel erősebb, mint a többi rétegé.

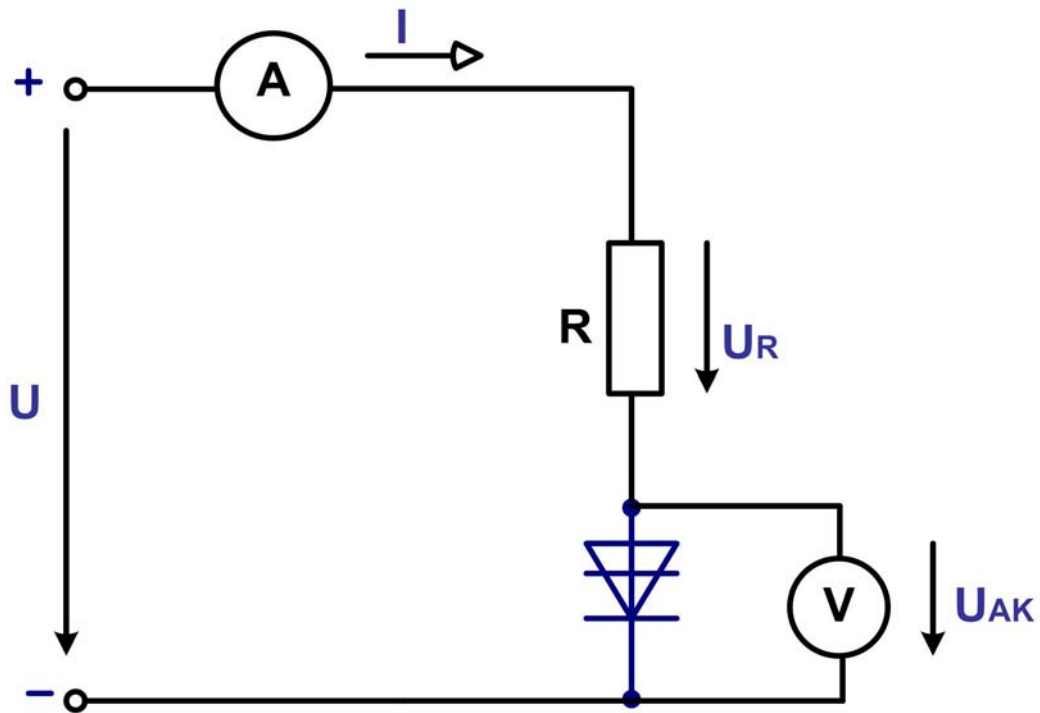
A négyrétegű dióda felépítése, diódás helyettesítő képe és áramköri jelölése a 13. ábrán látható.

¹ Forrás: <http://www.tme.hu>



13. ábra. . A négyrétegű dióda felépítése és szabványos rajzjele

A négyrétegű dióda különleges karakterisztikájának felvételéhez mérőkapcsolást kell összeállítani. A 14. ábrán látható áramkörrel felvehető adatok segítségével lehet az áramköri elem feszültség – áram jelleggörbét meghatározni.



14. ábra. Mérőkapcsolás a négyrétegű dióda karakterisztikájának felvételéhez

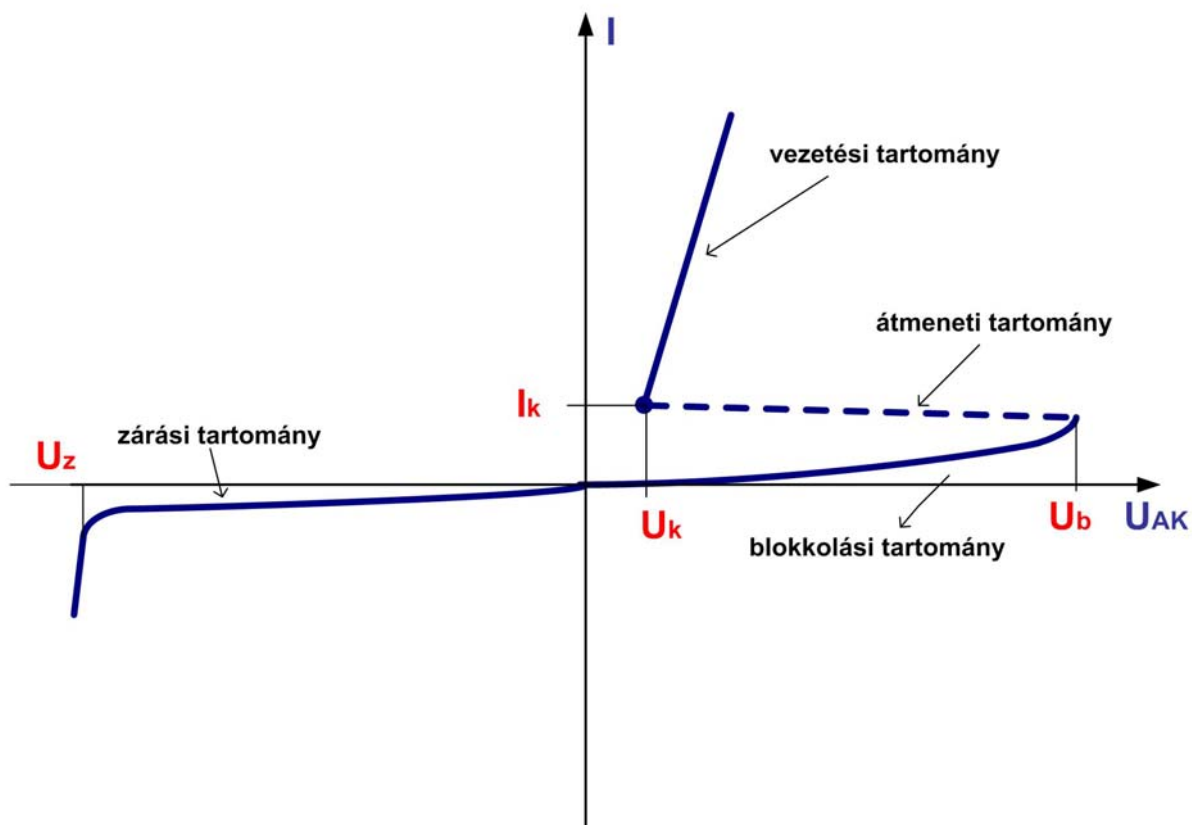
A 15. ábra tartalmazza a négyrétegű dióda 4 féle tartományból álló karakterisztikáját.

Billenési feszültség (U_b): a középső NP átmenet Zener – átütéséhez tartozó feszültség.

Kritikus feszültség (U_k): a vezetési tartomány kezdő feszültsége.

Kritikus áram (I_k): a vezetési tartomány kezdő árama.

Záró feszültség (U_z): a Zener – jellegű letörés feszültsége.



15. ábra. A négyrétegű dióda karakterisztikája

Záróirányú előfeszítés:

A négyrétegű eszköz a Zener diódához hasonlóan működik.

Nyitóirányú előfeszítés:

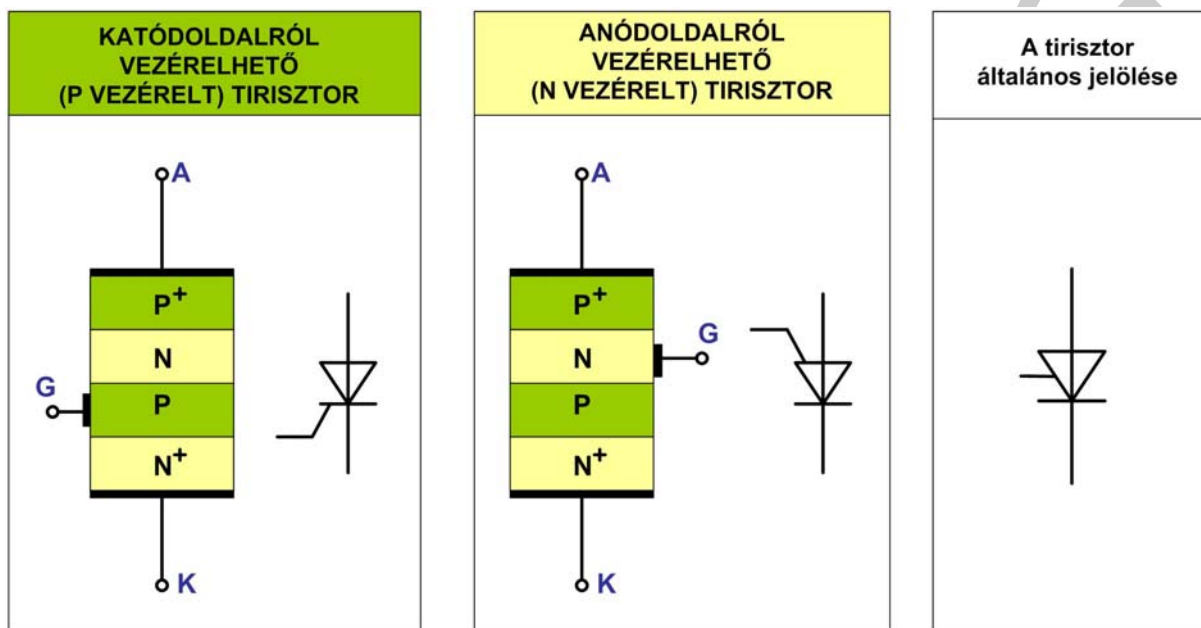
A D_1 és D_3 diódaelemek nyitó-, a D_2 diódaelem záróirányban van előfeszítve. A blokkolási tartományban a dióda ellenállása igen nagy. A nyitóirányú feszültség növelésével U_b billenési feszültségen a középső NP átmeneten Zener – jellegű átütés jön létre, a négyrétegű dióda kis ellenállású állapotba kerül. A jelleggörbének az U_b billenési és az U_k kritikus szakasza közötti átmeneti tartományában a differenciális ellenállás negatív értékűvé válik. A vezetési tartományban, az $U_k - I_k$ munkaponttól a négyrétegű dióda ellenállása nagyon kis értékűvé válik. Ha a dióda árama vagy feszültsége az U_k vagy az I_k értéke alá esik, a négyrétegű dióda újra visszakapcsol nagy ellenállású állapotába.

A négyrétegű diódák műszaki felhasználását alapvetően a kis teljesítmény határozza meg. A gyakorlatban impulzusteknikai áramkörök kapcsolóelemeként és tirisztorok vezérlésére használják (utóbbi alkalmazás miatt nevezik tirisztordiódának). Nagyobb teljesítmények esetén vezérelt négyrétegű diódákat, azaz tirisztorokat alkalmaznak.

2. Tirisztor

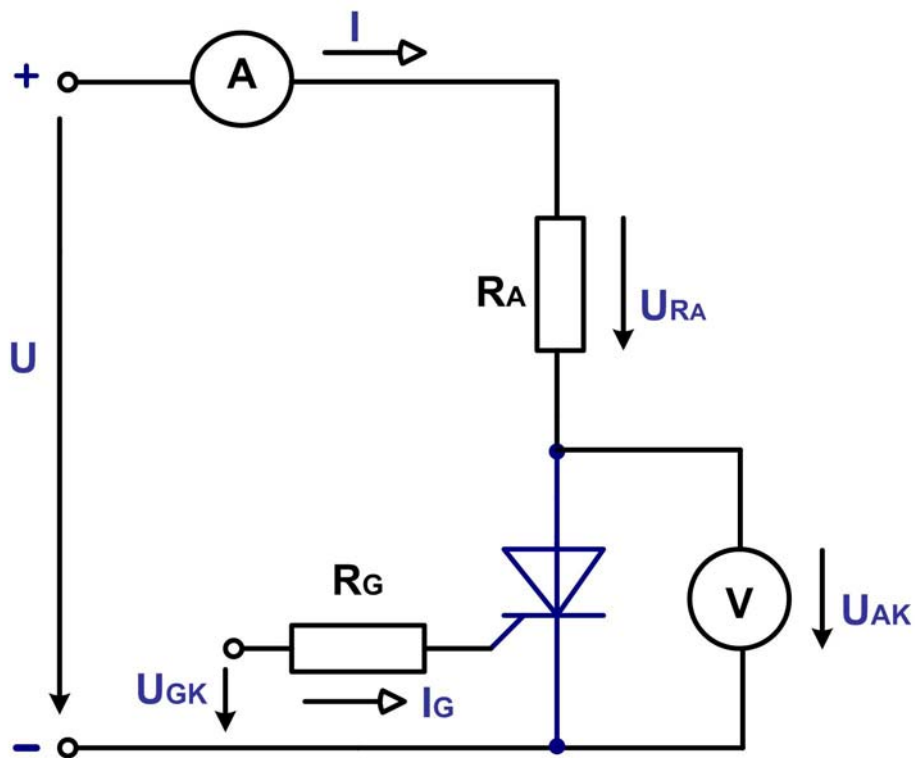
A tirisztor szerkezete szinte teljesen azonos a négyrétegű dióda felépítésével, mindössze egy újabb kivezetéssel, vezérlőelektródával látják el. A tirisztorok egy nagy ellenállású és egy kis ellenállású stabil üzemi állapottal rendelkeznek. A két állapot közötti átváltást a vezérlőelektródával lehet megvalósítani. A három db elektróda miatt tirisztortriódának is nevezik.

A 16. ábrán megfigyelhető a tirisztorok felépítése és áramköri jelölése.



16. ábra. A tirisztorok felépítése és áramköri jelölése

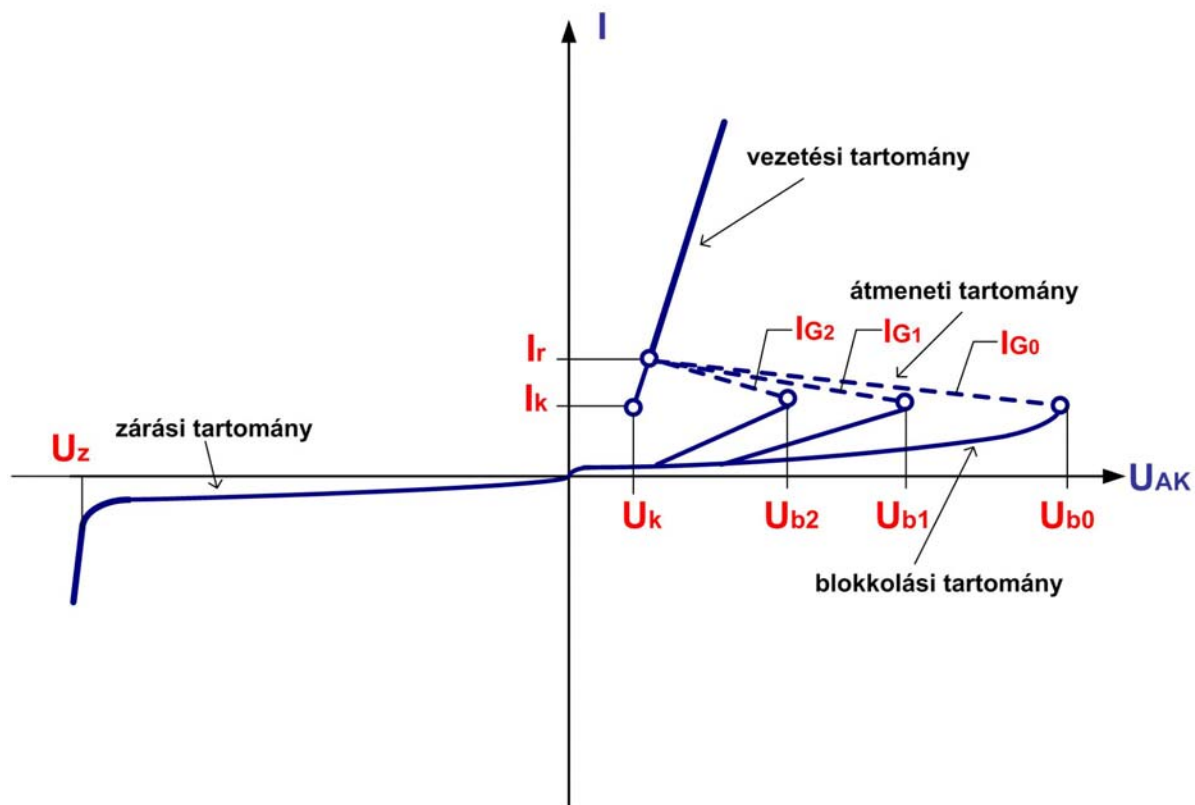
A tirisztorok feszültség – áram karakterisztikájának felvételéhez mérőkapcsolás szükséges. Egy katódoldalról vezérelt tirisztor jelleggörbéinek létrehozásához alkalmas mérőáramkör a 17. ábrán látható.



17. ábra. A tirisztor karakterisztika felvételéhez szükséges mérőkapcsolás

A kapcsolási rajz hasonlít a négyrétegű dióda jelleggörbéinek felvételéhez alkalmas áramkörre, de kiegészült a kapuvezérlő áramköri résszel. U_{GK} feszültség segítségével az I_G kapuáram beállításával lehet a különböző jelleggörbéket meghatározni.

A tirisztor különböző kapuáramokhoz tartozó feszültség – áram jelleggörbéi a 18. ábrán tanulmányozhatók.



18. ábra. A tirisztorok feszültség – áram karakterisztikája

Billenési feszültségek (U_{b0} , U_{b1} , U_{b2} , ... U_{bn}): különböző vezérlő áramok esetén a kis ellenállású állapotba ezeken a feszültségeken kapcsol át a tirisztor.

Kritikus feszültség (U_k): a vezetési tartomány kezdő feszültsége.

Kritikus áram (I_k): a vezetési tartomány kezdő árama, alatta a tirisztor nagy ellenállású.

Reteszelési áram (I_r): a tirisztor anódáramának legkisebb értéke, amelyet a kapuelektrodát vezérlő pozitív impulzus időtartamig biztosítani kell ahhoz, hogy a tirisztor begyűjtson.

Záró feszültség (U_z): a Zener – jellegű letörés feszültsége.

A tirisztorok az U_{AK} anód–katód feszültség irányának változtatásával lehet a záróirányú és a nyitóirányú karakterisztikát felvenni. Ha a kapuelektroda nem kap feszültséget, az U_{AK} feszültség növelésével U_{B0} billenőfeszültségnél a tirisztor nagy ellenállású állapotból átvált kis ellenállású állapotba. Ilyenkor a tirisztor működése megegyezik a négyrétegű dióda működésével. A működési tartományok elnevezése is azonos a négyrétegű eszközével.

Záróirányú előfeszítés: a tirisztor nagy ellenállású állapotban az U_z feszültségéértékgig működtethető. Ilyen előfeszítésnél a tirisztor a Zener diódákhoz hasonló működési tulajdonságokat mutat.

Nyitó irányú előfeszítés: a G kapuelektrodára kapcsolt U_{GK} feszültség a tirisztor szerkezetét alkotó – PNP és NPN tranzisztorokként felfogható – PN átmeneteket egymás kölcsönös vezérlésére készíti, s létrejön a kis ellenállású állapotba történő átbillenés. A billenés bekövetkezése az U_{GK} vezérlőfeszültség (és ezzel az I_G) segítségével befolyásolható. A tirisztor bekapcsolás után megőrzi állapotát függetlenül a kapuelektroda potenciáljától.

A tirisztor nagy ellenállású állapotát addig megőrzi, amíg az U_{AK} feszültség a billenési feszültség alatt marad és anódárama kisebb, mint az I_r reteszelési áramérték.

A tirisztor vezetése megszüntethető az anódáram I_k kritikus áramérték alá csökkentésével, vagy ellentétes irányú U_{AK} feszültséggel.

A tirisztor billenési feszültsége állandó értékű U_{AK} esetén befolyásolható az I_G áramok változtatásával. A tirisztorok vezérléséhez a gyakorlatban meghatározott paraméterű áramimpulzusokat alkalmaznak.

A tirisztorok kapuelektrodájának szerepe leginkább abban különbözik a bipoláris tranzisztorok bázisától, hogy a bekapcsolt tirisztor a kapuelektroda potenciáljától függetlenül megmarad bekapcsolt állapotában.

A műszaki gyakorlatban létezik vezérlőelektrodával kikapcsolható tirisztor (GTO) is, amely leginkább kettős vezérlőelektrodájával különbözik a hagyományos tirisztortól. Az egyik vezérlőelektrodát gyújtásra, a másikat oltásra használják.

A tirisztorok továbbfejlesztésével létrehozták a tirisztortetradát is, amelynél két vezérlőelektrodát alkalmaznak, s így az eszköz katódoldalról és az anódoldalról egyaránt vezérelhető.

A különböző tirisztorokat leggyakrabban váltakozó áramú motorok, tápegységek, nagyobb teljesítmények szabályzásra, vagy érintkező nélküli kapcsolóként alkalmazzák.

2. DIAC

A DIAC váltakozó áramú kapcsolódíoda. A rövidítés jelentése: DIAC → Diode Alternating Current Switch → kétirányú félvezető kapcsolóeszköz. Az áramköri elem két stabil helyzettel, egy nagy és egy kis ellenállású üzemi állapottal rendelkezik. A két állapot közötti átmenet a rákapcsolt feszültség irányától függetlenül egy meghatározott U_{bo} nagyságú áttörési feszültségnél bekövetkezik.

Zárási, blokkolási állapot: az eszköz nagy ellenállású.

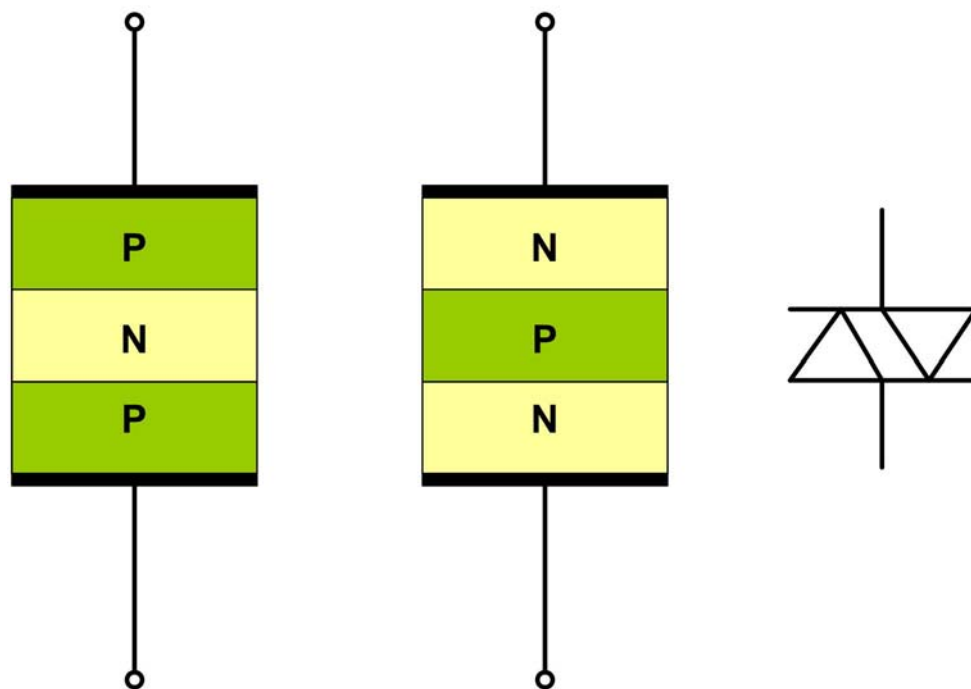
Vezetési állapot: az eszköz kis ellenállású.

A műszaki gyakorlatban megkülönböztethető DIAC típusok: kétirányú dióda és kétirányú tirisztordíoda.

a) Kétirányú dióda

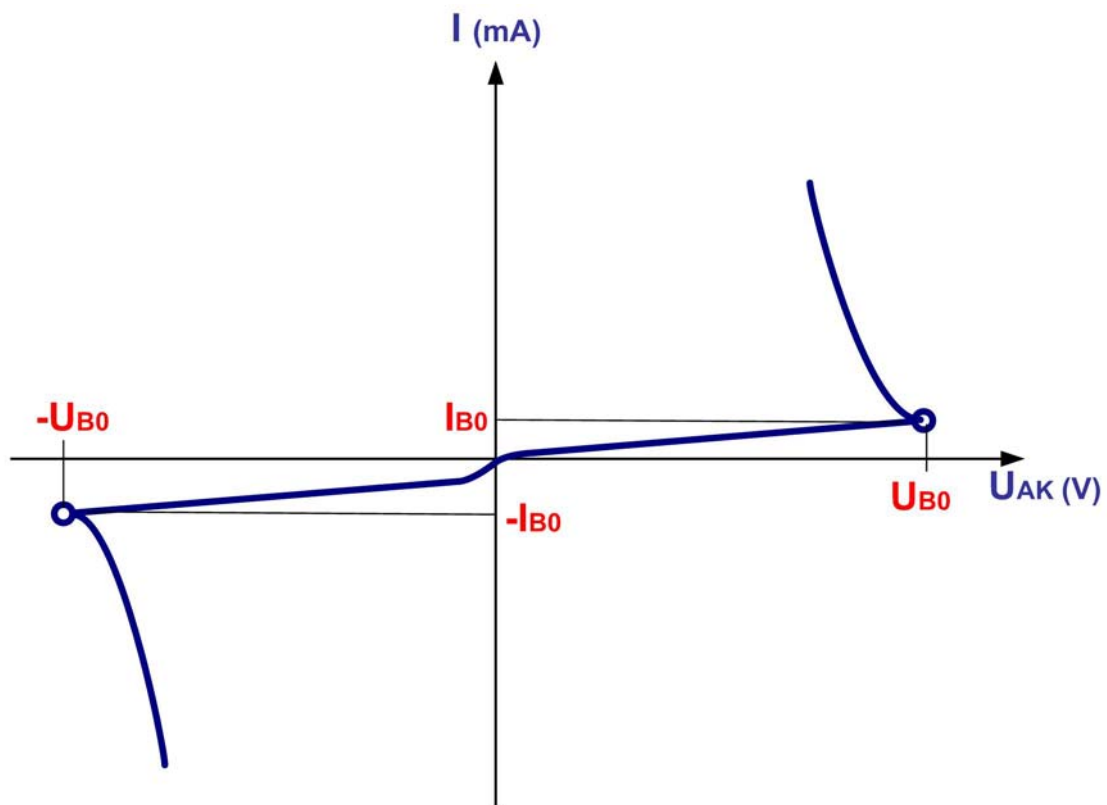
A kétirányú dióda háromrétegű félvezetőeszköz, amely a bipoláris tranzistorhoz hasonlóan szimmetrikus PNP vagy NPN felépítésű. A kétirányú dióda csak két kivezetéssel rendelkezik. Függetlenül a félvezetőre kapcsolt feszültség irányától, az egyik PN átmenetét záróirányban, a másikat nyitóirányban feszítik elő.

A kétirányú diódák szerkezeti felépítése és áramköri rajzjele a 19. ábrán látható.



19. ábra. DIAC – kétirányú dióda felépítése és áramköri rajzjele

A kétirányú dióda fizikai működése a 20. ábrán bemutatott karakterisztikán tanulmányozható.

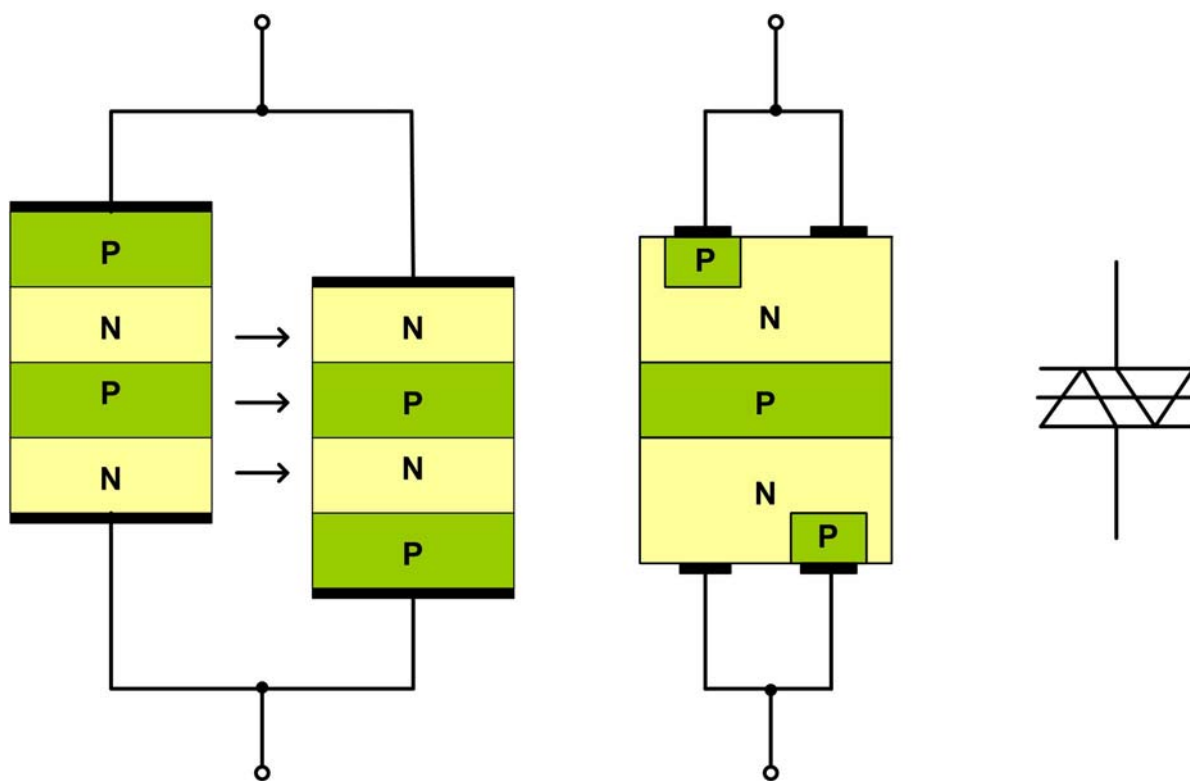


20. ábra. A kétirányú dióda karakterisztikája

A félvezető eszköz működtetésekor a záróirányban előfeszített PN átmeneten $\pm U_{B0}$ feszültségen lavinaletörés keletkezik. A nagy ellenállású állapotból a kis ellenállású állapotba történő átváltás mindkét irányban közel azonos abszolút értékű feszültségen következik be. A kétirányú dióda akkor kapcsol vissza vezetési állapotból zárási állapotba, ha a rajta eső feszültség nagysága (abszolút értékben) egy kritikus érték alá csökken.

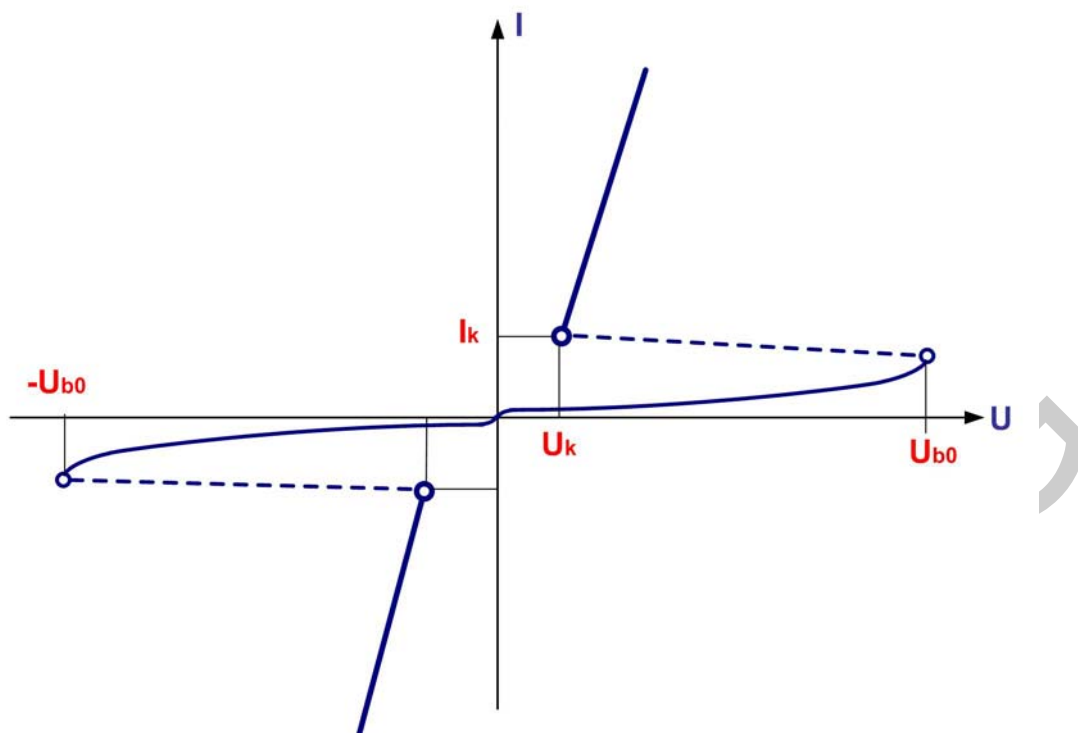
b) Kétirányú tirisztordióda

A kétirányú tirisztordióda szerkezeti felépítésében öt db félvezető réteggel rendelkezik. Az öt réteg egy kristály szerkezetben elvileg két darab négyrétegű dióda egymáshoz képest fordított irányú párhuzamos kapcsolásából, egyesítéséből származtatható. A félvezető eszköz felépítése és áramköri rajzjele a 21. ábrán megismerhetők.



21. ábra. A kétirányú tirisztordióda felépítése és áramköri rajzjele

A kétirányú tirisztordióda fizikai működésének megértését segíti a 22. ábrán látható karakterisztika.



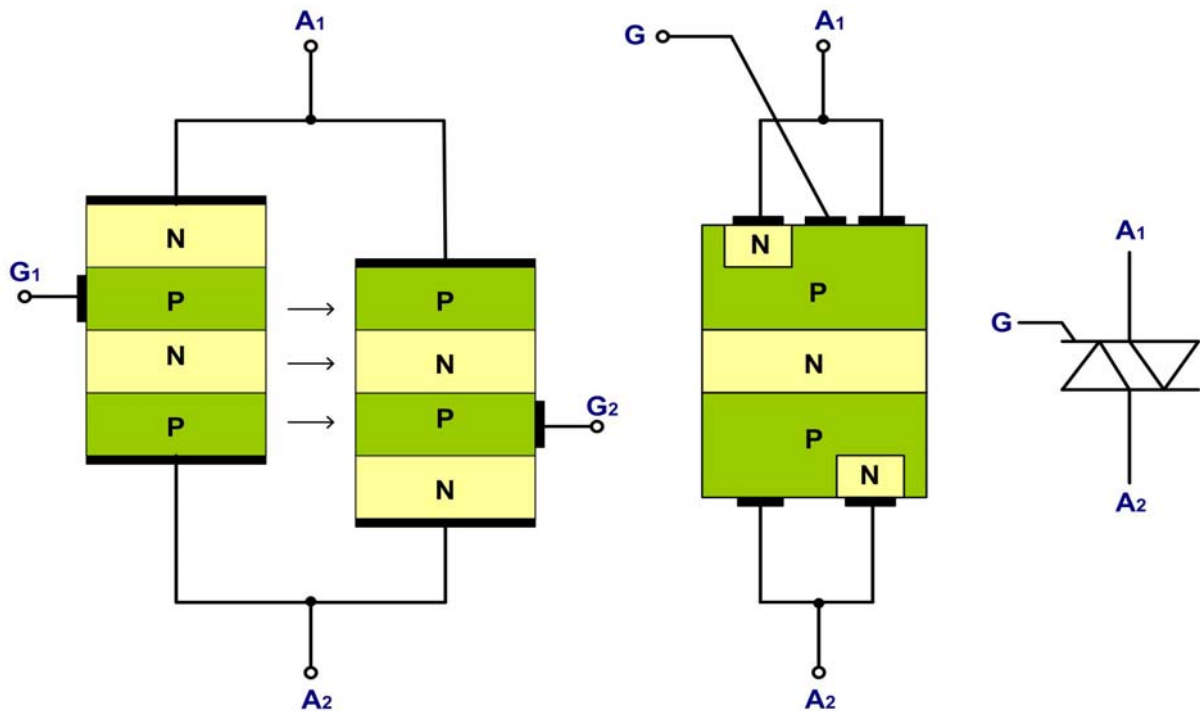
22. ábra. A kétirányú tirisztordióda karakterisztikája

Kapcsoljunk váltakozó jelet a kétirányú tirisztordiódára! A váltakozó áram pozitív és negatív félperiódusában a bekapcsolás feltétele: a feszültség lépje túl az U_{B0} billenési feszültséget és az áramérték érje el az I_k kritikus áramot. Ha az áramérték a kritikus áramerősség alá csökken, a kétirányú tirisztortrióda visszakapcsol a nagy ellenállású állapotba.

A műszaki gyakorlatban a DIAC-ot leggyakrabban TRIAC-ok vezérlésére és impulzusteknikai áramkörök érintkező nélküli kapcsolóiként alkalmazzák.

3. TRIAC

TRIAC → Triode for Alternating Current Semiconductor Switch → kétirányú tirisztortrióda, vezérelhető félvezető kapcsoló eszköz. Ötrétegű félvezető áramköri elem, amely két db tirisztor fordított irányú párhuzamos kapcsolásával, egy kristályban történő egyesítésével modellezhető. Kétirányú tirisztortriódának is nevezik. A gyártásnál közös vezérlőelektrodával látják el, melyen keresztül az eszköz a váltakozó áram mindkét félperiódusában vezérelhető. A 23. ábrán mindezek, valamint a TRIAC szabványos jelölése is megfigyelhető.



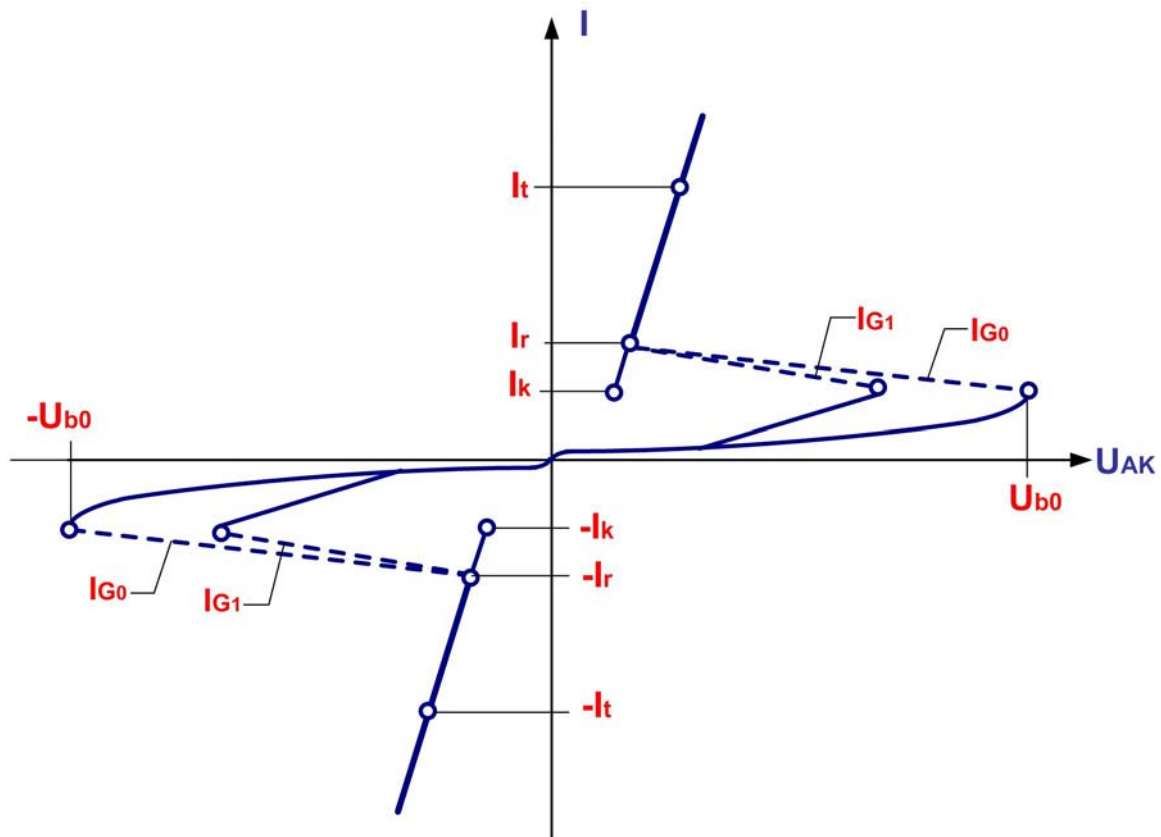
23. ábra. A TRIAC szerkezeti felépítése és áramköri rajzjele

A₁: 1. anód, vagy más néven **felső anód**

A₂: 2. anód, vagy más néven **tokanód**

G: kapuelektroda, **gate**

A 24. ábrán tanulmányozható a TRIAC feszültség – áram karakterisztikája, amelyen mindkét oldalon megfigyelhetők a tirisztoroknál megismert vezetési-, átmeneti- és blokkolási tartományok.



24. ábra. A TRIAC (kétirányú tirisztortrióda) karakterisztikája

Vezetési áram (I_t): a legnagyobb tartósan megengedett terhelőáram.

Kritikus áram (I_k): a vezetési tartomány kezdő árama, alatta a TRIAC kikapcsol.

Reteszelési áram (I_r): a TRIAC áramának legkisebb értéke, amelyet a kapuelektrodát vezérlő impulzus időtartamáig biztosítani kell ahhoz, hogy a TRIAC begyújtson.

Billenési feszültség (U_{b0}): a blokkolási és az átmeneti tartomány határfeszültsége.

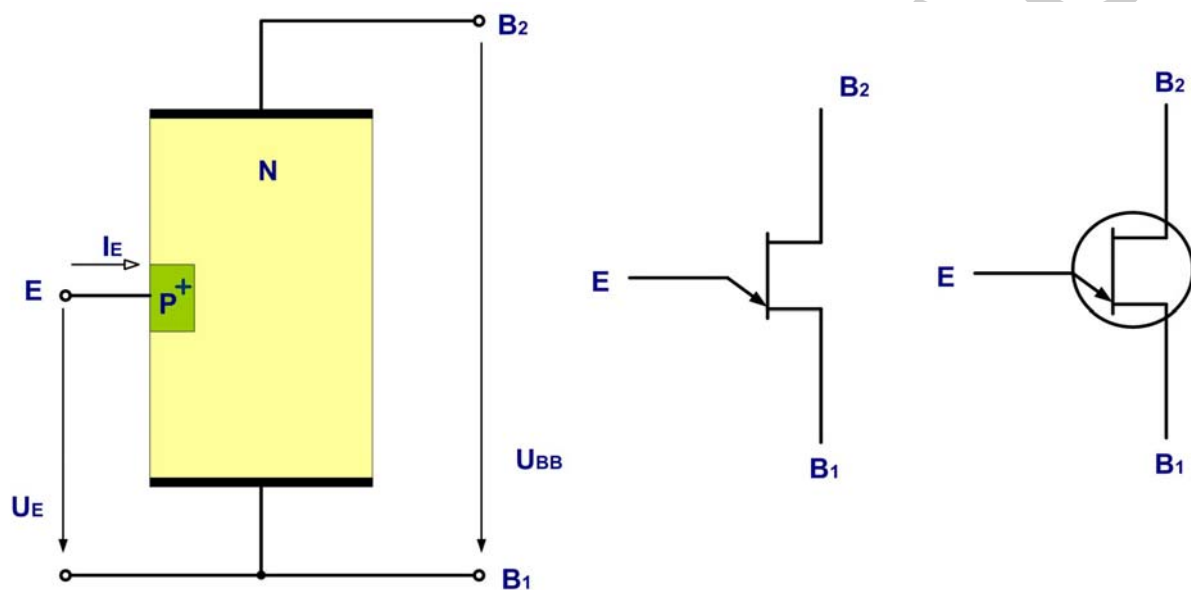
A TRIAC pozitív és negatív polaritással is működik, ezért a háromféle tartomány a karakterisztika mindkét oldalán megtalálható. A gyújtás bekövetkezése után a vezérlőelektroda hatástalanná válik. Az eszköz kikapcsolásához az anódáramot kell I_k kritikus érték alá csökkenteni.

A TRIAC-ot a műszaki gyakorlatban igen gyakran váltakozó áramú teljesítmények szabályzására, vezérlésére használják. Alkalmas a váltakozó áramú rendszerekben nagy teljesítményű fogyasztó be- és kikapcsolására, s előfordul érintkező nélküli kapcsolóként is.

4. UJT

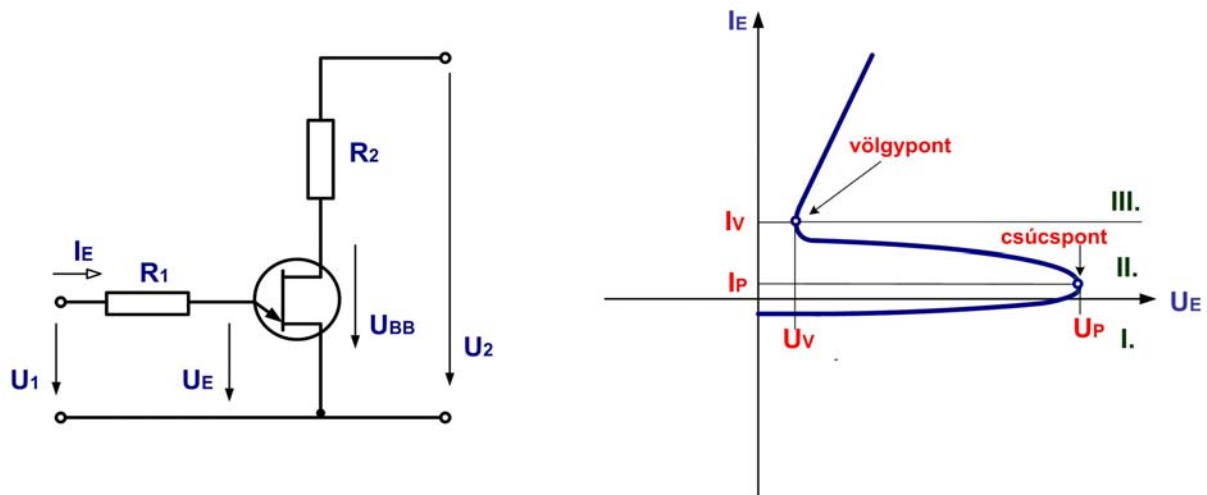
Az UJT egyátmenetű, kétbázisú tranzisztor. Az angol rövidítés jelentése: UJT → Unijunction Transistor. Szerkezetében egy N vagy P típusú, szennyezett szilícium alapanyagú félvezető kristály, amelyben az alapkristállyal ellentétes típusú erős szennyezésű szigetet képeznek. Az eszköz egy db PN átmenetet tartalmaz. A kristály két végét B_1 , B_2 bázis elnevezésű kivezetésekkel, a kialakított szennyezésű szigetet E emitter kivezetéssel látják el. Tulajdonképpen az emitter a bázisokkal egy-egy diódát alkot, s a két bázis közötti rész ellenállásként szerepel.

Egy N alapanyagú UJT felépítése és szabványos rajzjele a 25. ábrán látható.



25. ábra. Az UJT felépítése és áramköri jelölése

Az UJT karakterisztikájának felvételéhez mérési összeállítás szükséges. A működés a 26. ábrán látható áramkör és a felvett karakterisztika segítségével értelmezhető.



26. ábra. Az UJT jelleggörbék mérőáramköre és a karakterisztika

Völgyponti feszültség (U_V)

Völgyponti áram (I_V)

Csúcsponit feszültség (U_P)

Csúcsponit áram (I_P)

Az UJT karakterisztikáján (római számokkal jelölve) három tartomány figyelhető meg:

I. Lezárási tartomány: a PN átmenet záróirányú előfeszítése miatt az eszközön egy jól ismert záróirányú áram folyik → **egyik stabil állapot, nagy ellenállás.**

II. Negatív ellenállású tartomány: a PN átmenet nyitóirányú előfeszítése miatt az I_E áram növekszik, a belső bázisrész ellenállása lecsökken, az U_E csökken, s ezért a dióda nyitóirányú feszültsége nő. Az önerősödő körfolyamat során a vezetőképesség növekszik, s így kialakul egy negatív differenciális ellenállású jelleggörbe tartomány.

III. Telítési tartomány: a görbe negatív ellenállású tartomány végétől, az U_V - I_V ponttól felfelé az I_E emitter áram meredeken emelkedik → **másik stabil állapot, kis ellenállás.**

Az UJT két stabil állapotú eszköz, amelynél a két állapot közötti átmenetet az U_E emitter feszültség értéke határozza meg: U_P csúcsponit feszültség túllépése, illetve U_V völgyponti feszültség alá csökkenése.

A műszaki gyakorlatban az UJT félvezető eszközt leginkább tirisztorok gyújtásához, oszcillátorokhoz, időzítő áramkörökhöz és multivibrátorokhoz alkalmazzák.



27. ábra. A kereskedelemben kapható erősáramú félvezető alkatrészek²

Összefoglalás

Az esetfelvetés kapcsán kiderült, hogy leendő munkahelyének a közeljövőben új szakmai profilt adnak. Az új feladatok között gyengeáramú analóg erősítők tervezése, méretezése, megépítése és mérési vizsgálata szerepel. A munkába állás előtt egy speciális tanfolyamon fog részt venni, melynek belépési feltétele a félvezető eszközök fizikai alapjaira épített többrétegű félvezető eszközök, az unipoláris tranzisztorok és az erősáramú félvezető eszközök, mint alkatrészek felépítésének, működésének az ismerete. Jelen tananyagrészen segítséget kaphatott az alapok elsajátításához, felfrissítéséhez.

Az információfrissítés rövid bevezetővel kezdődött, melyben tájékozódhatott a szakmai információtartalomra vonatkozó tudnivalókról.

Az unipoláris tranzisztorok szerkezeti felépítésének és működésének részletes tárgyalása során felfrissülhettek a PN átmenet működésével kapcsolatos fogalmak, s ugyanitt teret kapott a nyitóirányú és a záróirányú előfeszítés. Az eltérő működési folyamatokat külön tárgyaltuk a záróréteges és a fém-oxidos eszközöknél. Megkülönböztetésre kerültek a kiürítéses és a növekményes MOSFET-ek. A részletes tárgyalás kitért az unipoláris eszközök felépítésére, működésére, szabványos jelölésére és gyakorlati alkalmazására. Ebben a tananyagrészen szerepeltek a JFET-ek és a MOSFET-ek átviteli és kimeneti jelleggörbéi. A bipoláris tranzisztorokhoz hasonlóan rövid ismertetésre kerültek az unipoláris eszközök alapkapcsolásai is.

Az erősáramú félvezető eszközök tárgyalásánál szintén teret kapott a többrétegű eszközök felépítése, működése, szabványos jelölésrendszere és a legfontosabb gyakorlati alkalmazások. Minden erősáramú eszközhöz feszültség-áram karakterisztika tartozott.

Kiegészítések zárták az ismertetést.

² Forrás: <http://www.tme.hu>

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Az unipoláris tranzistorok és az erősáramú félvezető eszközök felépítését, fizikai működését tárgyaló témakörökhöz tartozó ismeretek alkalmazásához az írott szakmai szöveg megértése, a különböző készségek fejlesztése szükséges.

Az elsajátított információk gyakorlati alkalmazásához elengedhetetlen a gyakorlatias feladatértelmezés módszer kompetencia fejlesztése.

A szakmai szöveg alapos tanulmányozása és feldolgozása után célszerű az alábbi gyakorló feladatok megoldása.

1. feladat: Készítsen családfát az unipoláris tranzistorok különböző szempontok szerinti felosztásáról!

2. feladat: Tervezzen mérőkapcsolást az N csatornás JFET karakterisztikáinak felvételéhez! A mérési összeállítást rajzolja le!

3. feladat: Készítse el egy N csatornás záróréteges JFET átviteli és kimeneti karakterisztikáját! Az ábrákon tüntesse fel a jelleggörbékhez tartozó paramétereket!

4. feladat: Írja le az alábbi, unipoláris tranzistorokra jellemző alapfogalmak jelentését!

- tervezérlés
- könyökfeszültség
- kiürítéses üzemmód

5. Alakítsa át az N csatornás JFET-et négyfólyussá, majd a bemeneti–kimeneti paraméterek feltüntetésével rajzolja fel az eszközt source kapcsolásban!

6. Rajzolja fel a következő félvezető eszközök szabványos rajzjelét!

- kiürítéses N csatornás MOSFET
- tirisztor
- DIAC
- TRIAC

7. feladat: Sorolja fel az Ön által ismert erősáramú félvezető eszközök gyakorlati alkalmazási lehetőségeit!

8. feladat: Tervezzen az egyátmenetű tranzisztor jelleggörbéinek felvételéhez alkalmas mérőkapcsolást, rajzolja le a mérőáramkört és az eszköz karakterisztikáját!

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Fogalmazza meg írásban a tervezérlésű tranzisztorok világában gyakran alkalmazott alábbi szakkifejezések jelentését! Rövid mondatokat, s ha szükséges, egyszerű ábrákat alkalmazzon!

- DÚSÍTÁSOS ÜZEMMÓD
- JFET KIMENETI KARAKTERISZTIKA
- ÖNVEZETŐ TRANZISZTOR
- SZUBSZTRÁT
- TIRISZTOR

DÚSÍTÁSOS ÜZEMMÓD

JFET KIMENETI KARAKTERISZTIKA

ÖNVEZETŐ TRANZISZTOR

SZUBSZTRÁT

TIRISZTOR

2. feladat

Értelmezze a félvezető technikában alkalmazott eszközökre vonatkozó rövidítéseket és elektróda elnevezéseket!

Feladatok:

a) Mit jelentenek az unipoláris tranzisztorok és az erősáramú félvezetők elnevezésére alkalmazott alábbi rövidítések? Írja le az angol elnevezéseket és magyar jelentésüket!

jFET: _____

MOSFET: _____

DIAC: _____

TRIAC: _____

UJT: _____

b) Mi a magyar jelentése az alábbi elektródáknak? Írja le az elektródák működésben betöltött szerepét!

GATE: _____

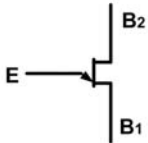
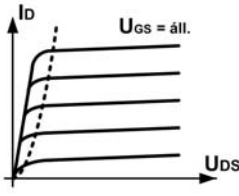
DRAIN: _____

SOURCE: _____

3. feladat

Oldja meg az alábbi tesztfeladatokat! A komplex feladatok megoldásához kiegészítéses, és igaz-hamis jellegű válaszadás szükséges.

a) Egészítse ki felirattal, szabványos jelöléssel, karakterisztikával az alábbi – unipoláris tranzisztorra és erősáramú félvezetőkre vonatkozó – táblázatot!

	NÉGYRÉTEGŰ DIÓDA		
			
			

28. ábra

b) Jelölje IGAZ vagy HAMIS feliratokkal az alábbi táblázatok kijelentéseit!

JFET TÉMAKÖR	
A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok vezérlése a drain elektródára kapcsolt árammal történik.	
A záróréteges unipoláris tranzisztorok önvezetőek.	
A JFET bemeneti karakterisztikája a gate-source feszültség és a gate áram között teremt kapcsolatot.	

MOSFET TÉMAKÖR	
Minden MOSFET tranzisztor növekményes, azaz önzáró típusú.	
A MOSFET tranzisztorok csak kiürítéses üzemmódban képesek működni.	
A MOSFET átviteli karakterisztikája az UGS feszültség és az ID áram között teremt kapcsolatot.	

ERŐSÁRAMÚ FÉLVEZETŐK TÉMAKÖR	
A négyrétegű dióda 2 db PN átmenettel és 2 db kivezetéssel rendelkezik.	
A DIAC kétirányú, két stabil állapottal rendelkező félvezető eszköz.	
Az egyátmenetű tranzisztor egy emitter és két kollektor kivezetésű erősáramú félvezető eszköz.	

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A félvezetők témakörében alkalmazott szakkifejezések magyarázata:

DÚSÍTÁSOS ÜZEMMÓD: pl. önvezető N csatornás MOSFET tranzisztornál pozitív gate feszültséggel ($U_{GS} > 0V$) történő vezérlés hatására a csatorna elektronokkal dúsul, s megnövekszik a vezetőképesség.

JFET KIMENETI KARAKTERISZTIKA: a záróréteges térvezérlésű tranzisztor négypólusként történő alkalmazásánál a kimeneti áram és a kimeneti feszültség közötti kapcsolatrendszer szemléltetésére szolgáló jelleggörbék.

ÖNVEZETŐ TRANZISZTOR: a MOSFET tranzisztorban a szilícium-dioxid szigetelőréteg alatti alapanyagban gyenge N- típusú szennyezést hoznak létre, melynek révén – anélkül, hogy a gate elektródára feszültséget kapcsolnánk – vezető jellegű összekötés alakul ki a source és a drain között.

SZUBSZTRÁT: különböző félvezető eszközök gyengén szennyezett alapkristálya, alaplemeze, melyre valamilyen technológiával, pl. kristálynövesztéssel újabb réteget növesztenek.

TIRISZTOR: olyan négyrétegű dióda, melynél egy külön kivezetést, vezérlőelektródát alkalmaznak. Egy nagy ellenállású és egy kis ellenállású stabil üzemi állapottal rendelkező erősáramú félvezető eszköz, melynél a két állapot közötti átváltást a vezérlőelektródával lehet megvalósítani. Leggyakrabban váltakozó áramú motorok, tápegységek, nagyobb teljesítmények szabályzásra, vagy érintkező nélküli kapcsolóként alkalmazzák.

2. feladat

A félvezető technikában alkalmazott eszközökre vonatkozó rövidítések és elektróda elnevezések magyarázata.

a) Az unipoláris tranzisztorok és az erősáramú félvezetők elnevezésére alkalmazott rövidítések angol elnevezései és magyar jelentésük.

JFET: junction Field Effect Transistor → záróréteges félvezető

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor → fém-oxid félvezető

DIAC: Diode for Alternating Current Switch → kétirányú félvezető kapcsolóeszköz

TRIAC: Triode for Alternating Current Semiconductor Switch → kétirányú tirisztortrióda

UJT: Unijunction Transistor → egyátmenetű (kétbázisú tranzisztor) tranzisztor.

b) Az elektródák elnevezésének magyar jelentése, és a működésben betöltött szerepük rövid leírása.

GATE: az unipoláris tranzisztor kapu elektródája, amelyen keresztül vezérik az eszközt.

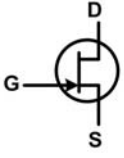
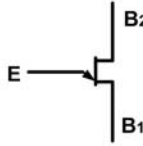
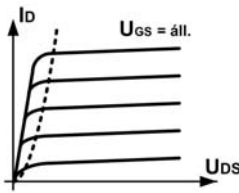
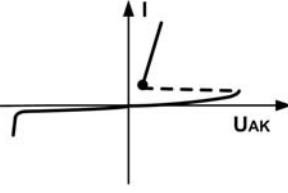
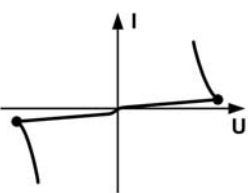
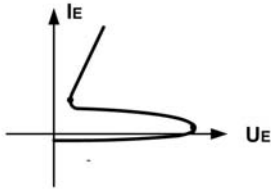
DRAIN: az unipoláris tranzisztor nyelő elektródája, szerepe a töltésbefogadás

SOURCE: az unipoláris tranzisztor forrás elektródája, szerepe a töltéskibocsátás.

3. feladat

Komplex tesztfeladat megoldása

a) A táblázat kiegészítése feliratokkal, szabványos jelölésekkel és karakterisztikákkal

TÉRVEZÉRLÉSŰ TRANZISZTOR	NÉGYRÉTEGŰ DIÓDA	KÉTIRÁNYÚ DIÓDA (DIAC)	EGYÁTMENETŰ TRANZISZTOR (UJT)
			
			

29. ábra

b) IGAZ vagy HAMIS feliratok bejelölése

JFET TÉMAKÖR	
A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok vezérlése a drain elektródára kapcsolt árammal történik.	HAMIS
A záróréteges unipoláris tranzisztorok önvezetőek.	IGAZ
A JFET bemeneti karakterisztikája a gate-source feszültség és a gate áram között teremt kapcsolatot.	HAMIS

MOSFET TÉMAKÖR	
Minden MOSFET tranzisztor növekményes, azaz önzáró típusú.	HAMIS
A MOSFET tranzisztorok csak kiürítéssel üzemeltethetők.	HAMIS

A MOSFET átviteli karakterisztikája az UGS feszültség és az ID áram között teremt kapcsolatot.	IGAZ
--	------

ERŐSÁRAMÚ FÉLVEZETŐK TÉMAKÖR	
A négyrétegű dióda 2 db PN átmenettel és 2 db kivezetéssel rendelkezik.	HAMIS
A DIAC kétirányú, két stabil állapottal rendelkező félvezető eszköz.	IGAZ
Az egyátmenetű tranzisztor egy emitter és két kollektor kivezetésű erősáramú félvezető eszköz.	HAMIS

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök tankönyv, Generál Press Kiadó, 2005.

Gergely István: Elektrotechnika, General Press Kiadó, 2009.

Zombori Béla: Elektronika, Tankönyvmester Kiadó, 2006.

Zombori Béla: Elektronikai feladatgyűjtemény, Tankönyvmester Kiadó, 2008.

Kóródi Dávid – Tóth S. Róbert: Villamosságtani alapismeretek, NSZFI Tankönyvkiadó, 2005.

Horváth Ernő: Elektronika feladatgyűjtemény I., Terra Print Kiadó, 1994.

Szűcs Lászlóné: Elektronikai példatár, Lexika Tankönyvkiadó, 1997.

AJÁNLOTT IRODALOM

U. Tietze–Ch. Scenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.

Mihály László: Elektronikai tesztgyűjtemény, Tankönyvmester Kiadó, 2006.

A(z) 0917-06 modul 012-es szakmai tankönyvi tartalomeleme
felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 523 01 0000 00 00	Elektronikai technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
7 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1–2008–0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató